

Заключение

Повышение коэффициента равномерности соотношения расходов природного газа и дутья по фурмам путем регулирования расхода газа по фактическому количеству дутья, поступающему через соответствующую фурму, позволило увеличить расход природного газа на $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ с коэффициентом замены им кокса, равным $0,72 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Список использованных источников

1. Сибатуллин С. К., Харченко А. С., Теплых Е. О., Салахов Р. Ф., Чевычелов А. В., Бегинюк В. А. Влияние расхода природного газа на коэффициент сопротивления шихты в зависимости от условий хода доменной плавки. *Achievement of high school: Материали за 8-а международна научна практическа конференция.* – Болгария, София: Изд-во София Бял ГРАД-БГ. С. 3–7.
2. Андронов В. Н., Белов Ю. А. Оценка эффективности распределения дутья и природного газа по фурмам // *Сталь.* 2002. № 9. С. 15–17.
3. Харченко А. С., Сибатуллин С. К., Сысоев Н. П. Поступление коксового орешка совместно с агломератом и окатышами из шихтового бункера БЗУ в колошниковое пространство доменной печи // *Изв. вузов. Черная металлургия.* 2011. № 8. С. 18–19.

УДК 669.042

А. А. Сидоренко, Е. В. Гупало

«Национальная металлургическая академия Украины», г. Днепропетровск, Украина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОЛЬЦЕВОЙ ПЕЧИ

Аннотация

Выполнены исследования тепловой работы кольцевой печи, оборудованной металлическим рекуператором для подогрева воздуха. Установлено, что максимальная экономия топлива за счет совершенствования рекуперативной системы утилизации теплоты дымовых газов, обеспечивающая повышение температуры подогрева воздуха с 200 до 400 °С, не превышает 11 %. Выполнена оценка повышения энергоэффективности печи при замене рекуперативной системы утилизации теплоты дымовых газов на регенеративную. Показано, что замена существующих горелочных устройств на регенеративные горелки позволяет обеспечить экономию топлива до 18 %. Выполнена экологическая оценка предложенных мероприятий.

Ключевые слова: кольцевая печь, экономия топлива, рекуператор, регенеративная горелка.

Abstract

Research into the heat work of the annular furnace equipped with a metal recuperator for air heating is carried out. The present thesis shows that the maximum fuel economy provided by increasing the temperature of the heated air up to 400 °C (from the initial 200 °C) is under 11 %.

Improving energy efficiency of furnace by replacing the recuperative heat recovery system for flue gases with the regenerative one is estimated.

It is shown that the replacement of existing burners for regenerative burners enables fuel savings up to 18 %. Environmental assessment of the examined propositions is carried out.

Keywords: annular furnace, economy of fuel, recuperator, regenerative burner.

Для нагрева металла перед обработкой давлением широко используются кольцевые печи, в которых сжигание топлива осуществляется с помощью двухпроводных горелочных устройств, расположенных в боковых стенах печи вдоль отапливаемых зон, а продукты сгорания отводятся из рабочего пространства через дымопады, расположенные в начале методической зоны. Одной из главных статей энергозатрат при нагреве металла являются потери теплоты с уходящими продуктами сгорания, которые в структуре теплового баланса печи составляют 35–45 % от подведенной теплоты. Задача утилизации дымовых газов решается путем подогрева воздуха, подаваемого на сжигание топлива. Как правило, температура подогрева воздуха, в зависимости от состояния рекуператора и дымового тракта печи, составляет 200–300 °С.

Более глубокая утилизация теплоты уходящих дымовых газов может быть достигнута:

1) путем совершенствования рекуперативной системы утилизации теплоты за счет оборудования печи одним или несколькими дополнительными рекуператорами. В качестве дополнительных рекуператоров могут использоваться: металлические трубчатые рекуператоры, устанавливаемые в дымовом борове печи, или щелевые радиационные рекуператоры, размещаемые в дымопадах печи. Дополнительные рекуператоры образуют вместе с существующим рекуператором единую систему утилизации теплоты уходящих дымовых газов. Эффективность этой системы зависит от схемы движения теплоносителей, общей поверхности теплообмена рекуператоров и температуры уходящих из печи продуктов сгорания;

2) путем замены существующих двухпроводных горелок на регенеративные горелочные устройства, обеспечивающие экономию топлива за счет возвращения в рабочее пространство печи до 90 % теплоты уходящего дыма.

Внедрение вышеуказанных мероприятий требует разработки ряда проектных решений по реконструкции печи. В первом случае необходима проработка технических характеристик дополнительных рекуператоров, выбор рациональной схемы работы системы «существующий рекуператор – дополнительные рекуператоры». При выборе схемы движения теплоносителей необходимо руководствоваться ограничениями, которые накладываются на предельно допустимые температуры дыма на входе в рекуператоры и температуры труб рекуператоров, зависящие, в свою очередь, от применяемых материалов для их изготовления. Во втором случае замена существующих двухпроводных горелочных устройств на регенеративные горелки требует реконструкции систем отопления, дымоудаления и автоматического управления тепловым режимом печи.

Для оценки эффективности внедрения рассматриваемых мероприятий исследована тепловая работа: кольцевой печи существующей конструкции (оборудованной двухпроводными горелочными устройствами и петлевым металлическим трубчатым рекуператором); печи существующей конструкции, оборудованной двумя дополнительными щелевыми радиационными рекуператорами; печи, оборудованной регенеративными горелками.

Основные размеры рабочего пространства печей: диаметр по средней линии – 15,4 м; ширина пода – 4,5 м; высота – 1,6 м; активная длина – 43 м; длина методической зоны – 7,1 м. Печи отапливаются природным газом, работают по многозонному температурному режиму с максимальной производительностью 50 т/ч и нагревают цилиндрические заготовки из Ст 20 диаметром 0,16 м и длиной 1,8 м до конечной температуры поверхности 1260 °С с перепадом температур по сечению заготовки 10 °С. Для выполнения расчетов использовались методики, приведенные в работах [1; 2].

Как показали результаты исследований (табл. 1), для печи существующей конструкции при температуре подогрева воздуха 200 °С, коэффициент рекуперации теплоты составил 0,19, коэффициент использования теплоты топлива – 0,67, а удельный расход топлива на нагрев металла до заданных конечных параметров – 45,13 м³/т.

Таблица 1

Эффективность совершенствования рекуперативной системы утилизации
теплоты кольцевой печи

Температура подогрева воздуха, °С	Коэффициент рекуперации теплоты	Коэффициент ис- пользования теп- лоты топлива	Экономия топлива		Годовой экономический эф- фект, тыс. \$
			м ³ /т	%	
200	0,19	0,67	-	-	-
250	0,22	0,68	0,89	2	124,6
300	0,25	0,69	1,71	4	239,4
350	0,31	0,72	3,31	7	463,4
400	0,38	0,75	4,80	11	672,0

Повышение температуры подогрева воздуха путем оборудования существующей печи дополнительными радиационными рекуператорами позволяет обеспечить существенную экономию топлива (табл. 1). Однако следует отметить, что двухпроводные горелки, которыми оборудована печь, рассчитаны на работу с температурой воздуха до 400 °С. Эта температура ограничивает повышение энергоэффективности печи, позволяя увеличить коэффициент рекуперации теплоты до 0,38, коэффициент использования теплоты топлива до 0,75 и достичь экономии топлива 11 %, или 4,8 м³/т. При цене природного газа 400 \$/1000 м³ максимальный годовой экономический эффект от внедрения мероприятия достигает 672 тыс. \$, а срок окупаемости мероприятия не превышает одного года.

С использованием формулы П. Куна и Д. Зукера выполнена экологическая оценка указанного мероприятия, которая показала, что повышение температуры подогрева воздуха с 200 до 400 °С приводит к росту удельной концентрации оксидов азота в продуктах сгорания и годового массового выброса NO_x на 76 %. Таким образом, совершенствование рекуперативной системы утилизации теплоты путем оборудования печи дополнительным рекуператором приводит к ухудшению экологических показателей ее работы.

При выполнении исследований тепловой работы печи с регенеративной системой отопления принято, что применение регенеративных горелочных устройств позволяет обеспечить температуру подогрева воздуха на уровне 80 % от температуры дымовых газов на выходе из рабочего пространства. Выбран энергоэффективный режим нагрева металла и определена тепловая мощность горелочных устройств. Установлено, что нагрев металла до заданных ко-

нечных параметров осуществляется при удельном расходе топлива 37,03 м³/т и среднем коэффициенте использования теплоты топлива 0,81.

Энергоэффективность применения регенеративного способа отопления необходимо оценивать в зависимости от показателей тепловой работы печи существующей конструкции. В табл. 2 приведены результаты расчетов экономии топлива и ожидаемого годового экономического эффекта от внедрения регенеративных горелочных устройств в зависимости от первоначального состояния рекуперативной системы утилизации теплоты кольцевой печи, оборудованной двухпроводными горелками.

Как видно из табл. 2, экономия топлива существенно зависит от эффективности работы рекуператора печи до реконструкции. Так, при температуре подогрева воздуха в рекуператоре до 200 °С внедрение регенеративной системы отопления обеспечивает экономию топлива 8,1 м³/т (или 18 %) и годовой экономический эффект 1,1 млн. \$. При температуре подогрева воздуха 400 °С эффективность внедрения мероприятия значительно ниже: экономия топлива 3,3 м³/т (или 8 %), годовой экономический эффект 462 тыс. \$.

Таблица 2

Эффективность использования регенеративных горелок в кольцевой печи

Печь с металлическим рекуператором		Печь с регенеративной системой отопления			Годовой экономический эффект, тыс. \$
Температура подогрева воздуха, °С	Удельный расход топлива, м³/т	Удельный расход топлива, м³/т	Экономия топлива		
			м³/т	%	
200	45,13	37,03	8,10	18	1134
250	44,24		7,21	16	1009
300	43,42		6,39	15	894,6
350	41,82		4,79	11	670,6
400	40,33		3,30	8	462,0

Внедрение регенеративного отопления на кольцевой печи может быть осуществлено при условиях замены существующих двухпроводных горелок на регенеративные, а также проведении масштабной реконструкции системы дымоудаления, замены тягодутьевых устройств, реконструкции автоматической системы управления технологическим процессом. Экологическая оценка, выполненная на основе данных производителя горелочных устройств [3] по содержанию вредных выбросов в продуктах сгорания, показала, что перевод печи на регенеративную систему отопления является экологически эффективным мероприятием и обеспечивает снижение массового выброса оксидов азота в 4,3 раза. Ориентировочные капитальные вложения на реконструкцию печи составят 1,5 млн. \$ при ожидаемом сроке окупаемости мероприятия 1,3–3,2 года в зависимости от технического состояния печи до реконструкции.

Список использованных источников

1. Гупало О. В., Василенко Н. Є., Пономаренко Д. С. Методика розрахунку теплової роботи печі безперервної дії з розподіленням підведенням і відведенням газоподібного теплоносія // Metallurgicheskaya teplo tekhnika: sb. nauch. trudov. – Dnepropetrovsk: Novaya ide-

логия, 2010. – Вып. 2 (17). – С. 78–88.

2. Губинский В. И. и др. Металлургические печи. Теория и расчеты : в 2-х т. / под общ. ред. В. И. Тимошпольского, В. И. Губинского. – Минск: Беларус. наука, 2007. – Т. 2. – 2007. – 832 с.

3. Web-сайт компании Hotwork Combustion Technology Limited. – Режим доступа: <http://www.hotworkct.com>. – Заголовок с экрана.

УДК 669.45

А. С. Симачев, М. В. Темлянец, Т. Н. Осколкова

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НАГРЕВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ Э76Ф ПОД ПРОКАТКУ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Аннотация

В статье представлены результаты исследования высокотемпературной пластичности рельсовой стали марки Э76Ф в диапазоне температур 950–1250 °С. Установлено, что наибольшее значение пластичности соответствует температуре 1150 °С.

Ключевые слова: высокотемпературная пластичность, рельсовая сталь.

Abstract

In the article the outcomes of research of high-temperature plasticity of rail steel of the mark Э76Ф in range of temperatures 950–1250 °C are shown. It is established that the greatest value of plasticity meets to temperature 1150 °C.

Keywords: high-temperature plasticity, rail steel.

Рельсы являются ответственным видом металлопродукции, к которому предъявляется широкий спектр требования по механическим и пластическим свойствам, качеству поверхности, геометрии профиля, прямолинейности и другим свойствам. Для их обеспечения требуется соответствующее оборудование и агрегаты, а главное эффективные технологии и технологические режимы производства. Одним из главных технологических этапов производства является нагрев непрерывнолитых заготовок в методических печах и прокатка рельсов на стане. Традиционно при реализации нагрева и прокатки возникает вопрос пластичности стали, ее зависимости от температуры и ряда других факторов [1].

Анализ специальной технической литературы показывает, что исследованию пластичности рельсовой стали посвящено относительно мало работ. В основном они проведены для мартеновской стали, разлитой в изложницы. В то же время хорошо известно, что пластичность является свойством, весьма чувствительным не только к химическому составу, температуре, скорости деформации и напряженному состоянию, но и параметрам структуры и не-